

**ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP  
EFISIENSI TRANSFORMATOR DISTRIBUSI DI PT. PLN ( PERSERO ) ULP  
PEDAN**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I  
pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

**Oleh:**

**PRAMUDYA SARLDEWI**

**D400170022**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA  
2021**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP  
EFISIENSI TRANSFORMATOR DISTRIBUSI DI PT. PLN (PERSERO) ULP  
PEDAN**

**PUBLIKASI ILMIAH**

oleh:



**PRAMUDYA SARI DEWI**

**D400170022**

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



**Umar, S.T., M.T**

**NIK. 731**

**HALAMAN PENGESAHAN**

**ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP  
EFISIENSI TRANSFORMATOR DISTRIBUSI DI PT. PLN ( PERSERO ) ULP  
PEDAN**

**OLEH**

**PRAMUDYA SARI DEWI**

**D400170022**

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji  
Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Pada hari Kamis, 12 Agustus 2021  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

**Dewan Penguji:**

1. Umar, S.T., M.T  
(Ketua Dewan Penguji)
2. Tindyo Prasetyo, S.T., M.T  
(Anggota I Dewan Penguji)
3. Hasyim Asyari, S.T., M.T  
(Anggota II Dewan Penguji)



**Dekan,**



**Rois Fatoni, S.T., M.Sc., Ph.D.**

**NIK. 0603027401**

## **PERNYATAAN**

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 12 Agustus 2021

Penulis



**PRAMUDYA SARI DEWI**

**D400170022**

# **ANALISIS PENGARUH KETIDAKSEIMBANGAN BEBAN TERHADAP EFISIENSI TRANSFORMATOR DISTRIBUSI DI PT. PLN ( PERSERO ) ULP PEDAN**

## **Abstrak**

Fenomena ketidakseimbangan beban terjalin sebab terdapatnya ketidaksamaan dalam konsumsi tenaga listrik. Pemicu munculnya arus pada penghantar netral serta rugi- rugi pada trafo sisi sekunder ataupun sisi primer itu sebab phase R, S dan T nya tidak balance. Bila dibiarkan dapat merugikan konsumen ataupun pihak PLN. Apabila beban yang disalurkan pada masing- masing phase R, S serta T besarnya sama dan sudutnya membentuk  $120^\circ$  antar phase maka tenaga listrik tersebut seimbang. Dikatakan tidak seimbang apabila salah satu phasenya memiliki beban berbeda dengan yang yang lain. Riset ini dicoba agar bisa mengerti pengaruh besar rugi-rugi energi yang terjalin akibat ketidakseimbangan, bisa memahami pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap efisiensi trafo distribusi. Riset memakai tata cara pengumpulan informasi serta analisa perhitungan ketidakseimbangan beban terhadap efisiensi tranfo distribusi PT. PLN( Persero) ULP Pedan. Efisiensi trafo tertinggi sebesar 96,75% terjadi ketika siang hari pada trafo pertama, dan efisiensi terendah sebesar 94,38% terjadi ketika malam hari pada transformator kedua.

**Kata Kunci:** Efisiensi, Fasa, Ketidakseimbangan beban, Transformator distribusi.

## **Abstract**

The phenomenon of load imbalance occurs because of inequality in electricity consumption. The trigger for the emergence of current in the neutral conductor and losses on the secondary or primary side of the transformer is because the R, S and T phases are not balanced. If left unchecked, it can harm consumers or PLN. If the load distributed to each phase R, S and T is the same and forms an angle of  $120^\circ$  between phases, the electric power is balanced. It is said to be unbalanced if one of the phases has a different load from the others. This research is attempted in order to understand the large influence of energy losses that occur due to imbalance, and to understand the effect of load imbalance on distribution transformer efficiency. The research uses the procedures for collecting information and analyzing the load imbalance calculation on the efficiency of distribution transportation of PT. PLN (Persero) ULP Pedan. The highest transformer efficiency of 96.75% occurs during the day on the first transformer, and the lowest efficiency of 94.38% occurs at night on the second transformer.

**Keywords:** Efficiency, Phase, Load unbalance, Distribution transformer.

## 1. PENDAHULUAN

Listrik sangat penting dan berguna bagi manusia dalam kebutuhan rumah tangga ataupun kebutuhan industri. Bukan sekedar untuk penerangan tetapi juga untuk kebutuhan lainnya misal kulkas, kipas angin dan masih banyak lagi.

Dilihat dari banyaknya perkembangan penduduk dan banyaknya pembangunan rumah maupun pertokoan di daerah Klaten sudah tentu menjadikan kebutuhan listriknya juga semakin besar. Membangun pusat energi listrik diberbagai daerah merupakan salah satu usaha PLN untuk memenuhi kebutuhan listrik yang sekarang menjadi semakin besar (Sudiarta, 2012).

Transformator distribusi ialah perlengkapan yang digunakan untuk mengganti tenaga listrik 20 kV jadi 220/ 380 V yang hendak digunakan konsumen( Bina, 2011). Energi yang dipasokan ke trafo itu berbeda dengan energi output ataupun beban dimana terdapat energi input pada transformator lenyap kala mempunyai komponen reaktif, serta pula perpindahan phase antar tegangan input serta tegangan output yang menyebabkan rugi- rugi pada transformator (Mgunda, 2017)

Pemicu munculnya arus pada penghantar netral serta rugi- rugi pada trafo sisi sekunder ataupun sisi primer itu sebab fasa R, S serta T nya tidak balance. Bila dibiarkan hingga hendak merugikan konsumen ataupun pihak PLN( Kawiing, dkk, 2013). Apabila beban yang disalurkan pada masing- masing phase R, S serta T besarnya sama dan sudutnya membentuk  $120^\circ$  antar phase hingga tenaga listrik tersebut balance. Dikatakan tidak balance apabila salah satu fasanya memiliki beban berbeda dengan yang lain( Bina, dkk, 2011).

Efisiensi transformator adalah perbandingan antara energi ouput dengan energi input yang masuk ke transformator. Efisiensi transformator idealnya sebesar 100%, namun sebab terdapatnya rugi- rugi tembaga serta rugi- rugi inti besi menjadikan efisiensi senantiasa kurang dari 100%( Bimbhra, 2011).

## 2. METODE

### 2.1 Rancangan Penelitian

#### 1) Study literatur

Penulis mengumpulkan jurnal-jurnal yang bisa menjadi acuan untuk mengerjakan tugas akhir yang berjudul “Analisis Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Efisiensi Transformator Distribusi Di PT. PLN (PERSERO) ULP Pedan”.

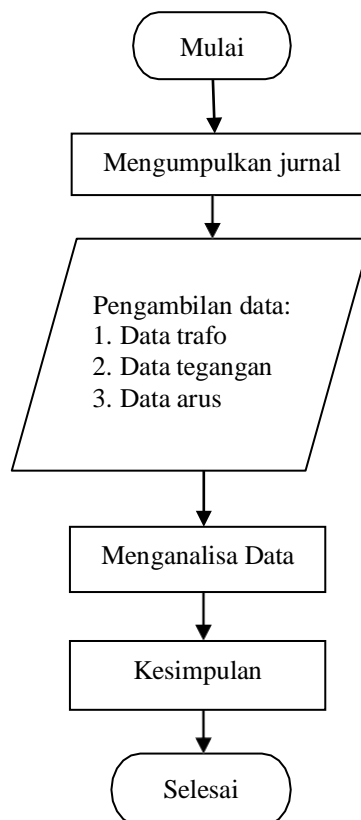
#### 2) Pengumpulan Data

Hal yang pertama dilakukan adalah mengirim surat izin yang dibuat oleh pihak Universitas untuk diserahkan pihak PLN, setelah mendapatkan izin maka bisa langsung melakukan pengambilan data di PT. PLN (PERSERO) ULP Pedan.

#### 3) Menganalisa Data

Setelah selesai melakukan pengambilan data, penulis menganalisis data tersebut dengan tidak menggunakan metode apapun, cukup dengan menggunakan Microsoft Excel untuk menghitung.

### 2.2 Flowchart Penelitian



Gambar 1. *Diagram alir*

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Data Trafo Distribusi

##### 3.1.1 Data Trafo Distribusi 1

Nama Trafo	: Sintra
Jumlah Fasa	: 3
Tegangan Primer	: 20000 V
Tegangan Sekunder	: 400 V
Daya	: 100 kVA
Tahanan Penghantar	: 0.064 $\Omega$
Cos $\varphi$	: 0,85
Rugi inti besi	: 210 Watt

Tabel 1. Data Pengukuran Trafo 1

	Siang	Malam
Arus R ( A )	19.1	5.5
Arus S ( A )	42.5	33.7
Arus T ( A )	29.4	7.9
Arus N ( A )	26.7	5.4
Tegangan RS ( V )	394	403
Tegangan RT ( V )	394	403
Tegangan ST ( V )	394	403

Dari tabel diatas, tiap-tiap fasa dari transformator 1 mengalami ketidakseimbangan beban.

##### 3.1.2 Data Trafo Distribusi 2

Nama Trafo	: Schneider
Jumlah Fasa	: 3
Tegangan Primer	: 20000 V
Tegangan Sekunder	: 400 V
Daya	: 160 kVA
Cos $\varphi$	: 0.85
Tahanan Penghantar	: 0,04 $\Omega$
Rugi inti besi	: 300 Watt



Tabel 2. Data Pengukuran Trafo 2

	Siang	Malam
Arus R ( A )	181.5	158.3
Arus S ( A )	139.6	118.9
Arus T ( A )	113.1	117.1
Arus N ( A )	82.3	88.5
Tegangan RS ( V )	389	396
Tegangan RT ( V )	389	396
Tegangan ST ( V )	389	396

Dari tabel diatas, tiap-tiap fasa dari transformator 2 mengalami ketidakseimbangan beban.

### 3.1.3 Data Trafo Distribusi 3

Nama Trafo	: Trafindo
Jumlah Fasa	: 3
Tegangan Primer	: 20000 V
Tegangan Sekunder	: 400 V
Daya	: 160 kVA
Cos $\varphi$	: 0.85
Tahanan Penghantar	: 0,04 $\Omega$
Rugi inti besi	: 300 Watt

Tabel 3. Data Pengukuran Trafo 3

	Siang	Malam
Arus R ( A )	74.7	70.4
Arus S ( A )	47.9	44.6
Arus T ( A )	71.5	86.2
Arus N ( A )	45.3	46.5
Tegangan RS ( V )	393	399
Tegangan RT ( V )	393	399
Tegangan ST ( V )	393	399

Dari tabel diatas, tiap-tiap fasa dari transformator 3 mengalami ketidakseimbangan beban.

### 3.2 Analisa Data

#### 3.2.1 Arus Beban Penuh

Apabila dilihat dari sisi tegangan tinggi (primer) maka daya transformator dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$S = \sqrt{3} \times V \times I \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

S : Daya trafo ( VA )

V : Tegangan sisi primer trafo ( V )

I : Arus jala-jala ( A )

Rumus menentukan arus beban penuh :

$$I_{FL} = \frac{S}{\sqrt{3} \times V} \dots \dots \dots (2)$$

Dengan :

$I_{FL}$  : Arus beban penuh ( A )

S : Daya trafo ( VA )

V : Tegangan sisi sekunder trafo ( V )

Contoh perhitungan arus beban penuh (full load) trafo 1 :

$$I_{FL} = \frac{100.000 \text{ VA}}{\sqrt{3} \times 400 \text{ V}} = 144,3 \text{ A}$$

$$I_{\text{rata-rata siang}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{19,1 \text{ A} + 42,5 \text{ A} + 29,4 \text{ A}}{3} = 30,33 \text{ A}$$

$$I_{\text{rata-rata malam}} = \frac{I_R + I_S + I_T}{3} = \frac{5,5 \text{ A} + 33,7 \text{ A} + 7,9 \text{ A}}{3} = 15,7 \text{ A}$$

Jadi perhitungan persentase beban adalah:

Pada siang hari

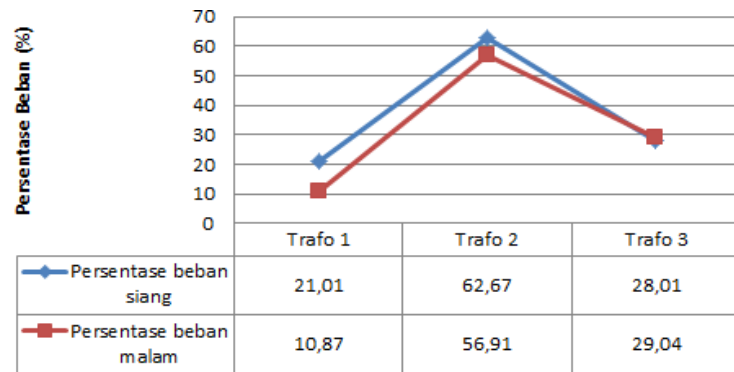
$$\frac{I_{\text{rata-rata siang}}}{I_{FL}} \times 100\% = \frac{30,33 \text{ A}}{144,3 \text{ A}} \times 100\% = 21,01\%$$

Pada malam hari

$$\frac{I_{\text{rata-rata malam}}}{I_{FL}} \times 100\% = \frac{15,7 \text{ A}}{144,3 \text{ A}} \times 100\% = 10,87\%$$

Tabel 4. Hasil perhitungan beban pada ketiga trafo

Waktu	Trafo 1		Trafo 2		Trafo 3	
	$I_{\text{rata-rata}}(\text{A})$	Persentase(%)	$I_{\text{rata-rata}}(\text{A})$	Persentase(%)	$I_{\text{rata-rata}}(\text{A})$	Persentase(%)
Siang	30,33 A	21,01 %	144,7 A	62,67 %	64,7 A	28,01 %
Malam	15,7 A	10,87 %	131,4 A	56,91 %	67,06 A	29,04 %



Gambar 2. Grafik persentase beban pada ketiga transformator

Tabel 4 serta gambar 2 diatas menampilkan bahwa beban tertinggi sebesar 62,67% terjadi ketika siang hari pada transformator kedua, dan beban terendah sebesar 10,87% terjadi ketika malam hari pada transformator pertama.

### 3.2.2 Ketidakseimbangan beban dan rugi daya

Agar bisa mengerti seberapa besar ketidakseimbangan beban maka menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$I_R = a \cdot I_{rata-rata} \text{ jadi } a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}} \dots\dots\dots (3)$$

$$I_S = b \cdot I_{rata-rata} \text{ jadi } b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}} \dots\dots\dots (4)$$

$$I_T = c \cdot I_{rata-rata} \text{ jadi } c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}} \dots\dots\dots (5)$$

Contoh perhitungan ketidakseimbangan beban trafo 1 :

Ketika siang hari

$$a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}} = \frac{19,1 \text{ A}}{30,33 \text{ A}} = 0,62$$

$$b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}} = \frac{42,5 \text{ A}}{30,33 \text{ A}} = 1,40$$

$$c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}} = \frac{29,4 \text{ A}}{30,33 \text{ A}} = 0,96$$

$$\begin{aligned} \text{Persentase ketidakseimbangan} &= \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\% \\ &= \frac{\{|0,62-1|+|1,40-1|+|0,96-1|\}}{3} \times 100\% = 26,73\% \end{aligned}$$

Ketika malam hari

$$a = \frac{I_R}{I_{rata-rata}} = \frac{5,5 \text{ A}}{15,7 \text{ A}} = 0,35$$

$$b = \frac{I_S}{I_{rata-rata}} = \frac{33,7 \text{ A}}{15,7 \text{ A}} = 2,14$$

$$c = \frac{I_T}{I_{rata-rata}} = \frac{7,9 \text{ A}}{15,7 \text{ A}} = 0,50$$

$$\begin{aligned}\text{Persentase ketidakseimbangan} &= \frac{\{|a-1|+|b-1|+|c-1|\}}{3} \times 100\% \\ &= \frac{\{|0,35-1|+|2,14-1|+|0,50-1|\}}{3} \times 100\% = 76,43\%\end{aligned}$$

Rugi-rugi daya

$$\sum R_{ugi} = P_i + P_{cu} + P_N$$

Dengan :

$\sum R_{ugi}$  : Rugi-rugi daya (kW)

$P_i$  : Rugi inti besi (kW)

$P_{cu}$  : Rugi tembaga (kW)

$P_N$  : Rugi penghantar netral (kW)

Contoh perhitungan rugi-rugi daya trafo 1 :

Ketika siang hari

$$\begin{aligned}P_{cu} &= I^2 R \\ &= 30,33^2 \times 0,064 \\ &= 0,0588 \text{ kW}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_N &= I_N^2 \cdot R_N \\ &= 26,7^2 \times 0,453 \\ &= 0,32 \text{ kW}\end{aligned}$$

$$\sum R_{ugi} = P_i + P_{cu} + P_N = 0,21 \text{ kW} + 0,0588 \text{ kW} + 0,32 \text{ kW} = 0,5888 \text{ kW}$$

Ketika malam hari

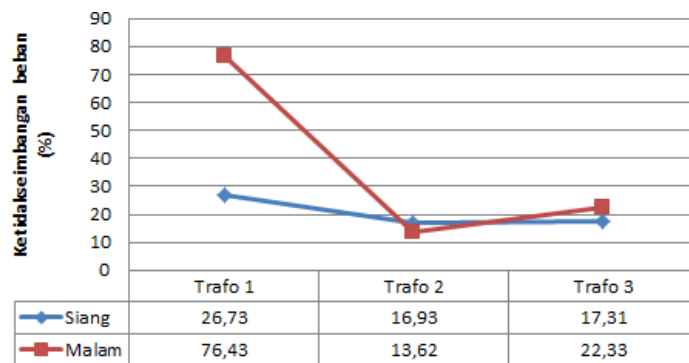
$$\begin{aligned}P_{cu} &= I^2 R \\ &= 15,7^2 \times 0,064 \\ &= 0,0157 \text{ kW}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}P_N &= I_N^2 \cdot R_N \\ &= 5,4^2 \times 0,453 \\ &= 0,13 \text{ kW}\end{aligned}$$

$$\sum R_{ugi} = P_i + P_{cu} + P_N = 0,21 \text{ kW} + 0,0157 \text{ kW} + 0,13 \text{ kW} = 0,3557 \text{ kW}$$

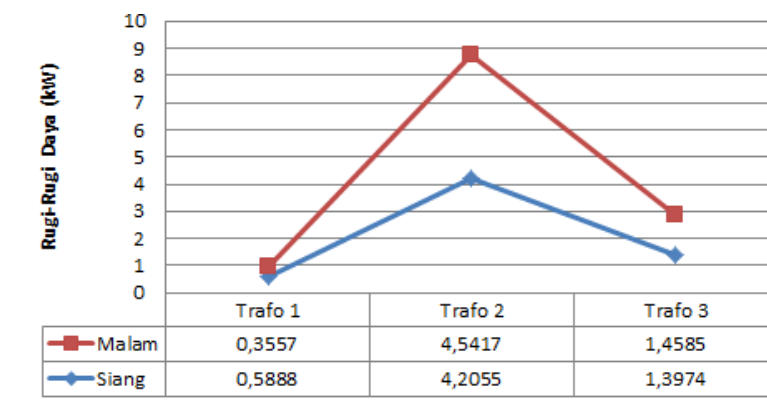
Tabel 5. Hasil perhitungan ketidakseimbangan dan rugi daya ketiga trafo

	Trafo 1		Trafo 2		Trafo 3	
Waktu	Ketidak seimbangan beban (%)	Rugi-rugi daya (kW)	Ketidak seimbangan beban (%)	Rugi-rugi daya (kW)	Ketidak seimbangan beban (%)	Rugi-rugi daya (kW)
Siang	26,73	0,5888	16,93	4,2055	17,31	1,3974
Malam	76,43	0,3557	13,62	4,5417	22,33	1,4585



Gambar 3. Grafik ketidakseimbangan beban pada ketiga trafo

Tabel 5 serta gambar 3 diatas menampilkan bahwa persentase ketidakseimbangan beban tertinggi sebesar 76,43% terjadi ketika malam hari pada transformator pertama, dan ketidakseimbangan beban terendah sebesar 13,62% terjadi ketika malam hari pada transformator kedua.



Gambar 4. Grafik rugi-rugi daya pada ketiga trafo

Tabel 5 serta gambar 4 diatas menampilkan bahwa rugi-rugi daya tertinggi sebesar 4,5417 kW terjadi ketika malam hari pada transformator kedua, dan rugi-rugi daya terendah sebesar 0,3557 kW terjadi ketika malam hari pada transformator pertama.

### 3.2.3 Efisiensi

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \dots\dots\dots (7)$$

Dengan :

$\eta$  : Efisiensi

$P_{out}$  : Daya output (kW)

$P_{in}$  : Daya input (kW)

Contoh perhitungan efisiensi trafo 1 :

Ketika siang hari

$$\begin{aligned}
 P_{out} &= (a + b + c) \frac{V}{\sqrt{3}} \times I \times \cos\phi \\
 &= (0,629 + 1,401 + 0,969) \frac{394}{\sqrt{3}} \times 30,33 \times 0,85 \\
 &= 17,550 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Efisiensi pada siang hari :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{P_{out}}{P_{out} + \text{rugi daya}} \times 100\% = \frac{17,550 \text{ kW}}{17,550 \text{ kW} + 0,5888 \text{ kW}} \times 100\% = 96,75\%$$

Ketika malam hari

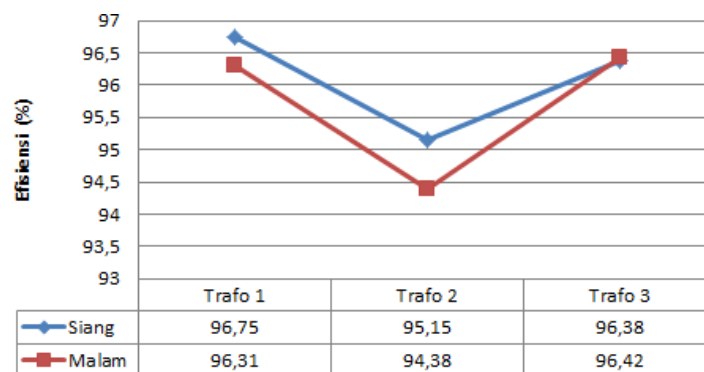
$$\begin{aligned}
 P_{out} &= (a + b + c) \frac{V}{\sqrt{3}} \times I \times \cos\phi \\
 &= (0,350 + 2,14 + 0,503) \frac{403}{\sqrt{3}} \times 15,7 \times 0,85 \\
 &= 9,285 \text{ kW}
 \end{aligned}$$

Efisiensi malam hari :

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% = \frac{P_{out}}{P_{out} + \text{rugi daya}} \times 100\% = \frac{9,285 \text{ kW}}{9,285 \text{ kW} + 0,3557 \text{ kW}} \times 100\% = 96,31\%$$

Tabel 6. Hasil perhitungan efisiensi pada ketiga trafo

	Trafo 1	Trafo 2	Trafo 3
Waktu	$\eta$ (%)	$\eta$ (%)	$\eta$ (%)
Siang	96,75	95,15	96,38
Malam	96,31	94,38	96,42



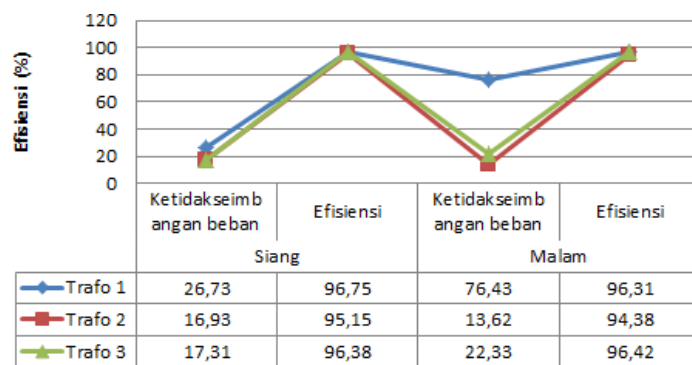
Gambar 5. Grafik efisiensi pada ketiga trafo

Tabel 6 serta Gambar 5 di atas menampilkan bahwa efisiensi trafo tertinggi sebesar 96,75% terjadi ketika siang hari pada trafo pertama, dan efisiensi terendah sebesar 94,38% terjadi ketika malam hari pada transformator kedua.

#### 3.2.4 Pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap efisiensi

Tabel 7. Hasil perhitungan ketidakseimbangan beban dan efisiensi ketiga trafo

Waktu	Trafo 1		Trafo 2		Trafo 3	
	Ketidak seimbangan beban (%)	Efisiensi (%)	Ketidak seimbangan beban (%)	Efisiensi (%)	Ketidak seimbangan beban (%)	Efisiensi (%)
Siang	26,73	96,75	16,93	95,15	17,31	96,38
Malam	76,43	96,31	13,62	94,38	22,33	96,42



Gambar 6. Grafik pengaruh ketidakseimbangan beban terhadap efisiensi

Tabel 7 serta gambar 6 di atas menampilkan semakin besar ketidakseimbangan beban maka semakin besar pula rugi daya, sehingga efisiensi yang dihasilkan semakin kecil, begitu pula sebaliknya.

## 4. PENUTUP

1. Tranformator distribusi di PLN ULP Pedan dalam kondisi tidak balance, dikarenakan arus yang mengalir ditiap-tiap phase berbeda.
2. Ketidakseimbangan beban tertinggi sebesar 76,43% terjadi ketika malam hari pada trafo pertama, dan ketidakseimbangan beban terendah sebesar 13,62% terjadi ketika malam hari pada transformator kedua.
3. Rugi-rugi daya tertinggi sebesar 4,5417 kW terjadi ketika malam hari pada transformator kedua, dan rugi-rugi daya terendah sebesar 0,3557 kW terjadi ketika malam hari pada transformator pertama.
4. Efisiensi trafo tertinggi sebesar 96,75% terjadi ketika siang hari pada trafo pertama, dan efisiensi terendah sebesar 94,38% terjadi ketika malam hari pada transformator kedua.

## **PERSANTUNAN**

Alhamdulillah, penulis mengucapkan puji syukur kepada Allah SWT yang sudah melimpahkan rahmat serta hidayahNya sehingga saya diberi kelancaran dalam menuntaskan tugas akhir. Saya mengucapkan terima kasih kepada segala pihak yang sudah membantu dalam menuntaskan tugas akhir:

1. Ayah, Ibu, Adek- adek yang senantiasa memberikan dukungan serta doa buat saya supaya senantiasa diberi kelancaran dalam penyelesaian tugas akhir serta jadi seseorang sarjana.
2. Bapak Umar, S.T.,M.T, sebagai dosen pembimbing yang sudah membimbing serta membagikan anjuran dalam menuntaskan tugas akhir.
3. Dosen-dosen teknik elektro UMS yang sudah membagikan ilmunya waktu di perkuliahan.
4. Bima Jalu Warih Saptadi yang senantiasa memberikan semangat serta dorongan kepada saya buat lekas menuntaskan tugas akhir.
5. Teman-temanku yang sudah membantu dalam menyelesaikan tugas akhir.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Aprilian P. Kawihing, dkk. (2013). Pemerataan Beban Transformator Pada Saluran Distribusi Sekunder, *ejournal.unsrat.ac.id*.
- Bimbhra, P.S. (2011). *Electical Machinery Theory, Perfomance And Application 7th Edition*, Publisher: Khanna Publishers, ISBN: 9788174091734, 8174091734.
- Bina Tavakoli, Kashef A. (2011). Three-phase unbalance of distribution systems:Complementary analysis and experimental case study, *International Journal of Electrical Power & Energy System*.
- Chapman Stephen. (2011). *Electric Machinery Fundamentals 5th Edition*, McGraw, ISBN 070687525, 9780750687522.
- I Wayan Sudiarta. (2012). Optimalisasi Pembebanan Transformator Daya di Gardu Induk Gianyar, *ejournal.p3m.pnb.ac.id*.
- Mgunda McPharlen Chipekwe. (2017). Optimization of Power Transformer Design: Losses, Voltage Regulation and Tests, *Journal of Power and Energy Engineering*, Vol.05 No.02, Article ID: 74303,30 pages.
- Siregar, Arifin. (2013). Analisis Ketidakseimbangan Beban pada Transformator Distribusi Di PT.PLN (Persero) Rayon Panam Pekanbaru: Univ.Islam Negeri Sultan Kasim Riau.
- Tri Watiningsih. (2012). Pengaruh Ketidakseimbangan Beban Terhadap Arus Netral dan Losses PadaTrafo Distribusi, *ejournal.unwiku.ac.id*.